



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 44 315 A 1**

⑥ Int. Cl.⁶:
H01 S 3/08
B 23 K 26/00

⑳ Aktenzeichen: 196 44 315.6
㉔ Anmeldetag: 24. 10. 96
㉕ Offenlegungstag: 2. 10. 97

DE 196 44 315 A 1

③ Unionspriorität:
8-72829 27.03.96 JP
⑦ Anmelder:
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP
⑦ Vertreter:
HOFFMANN · EITLE, 81925 München

⑦ Erfinder:
Iwashiro, Kuniaki, Tokio/Tokyo, JP; Kumamoto,
Kenji, Tokio/Tokyo, JP

BEST AVAILABLE COPY

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Festkörperlaseroszillator und mit diesem versehene Bearbeitungsvorrichtung

⑤ Bei einem Festkörperlaseroszillator, der ein Festkörperelement (1) aufweist, welches ein aktives Lasermedium enthält und bei der Anregung mehrere thermische Linsen aufweist, sowie reflektierende Spiegel (31, 32), die einander gegenüberliegend auf beiden Seiten des Festkörperelements so angeordnet sind, daß ihre optischen Achsen übereinstimmen, besteht eine vorbestimmte Beziehung zwischen dem Brechungsindex (n_0) und der Länge (L) des Festkörperelements, den Radien (R_1 , R_2) der Krümmung der reflektierenden Spiegel, den Entfernungen (L_1 , L_2) zwischen den reflektierenden Spiegeln und dem Festkörperelement (1), und der Differenz des Wertes von $1/f$ zwischen mehreren thermischen Linsen infolge der Doppelbrechung des Festkörperelements, so daß Oszillationsbereiche infolge der mehreren thermischen Linsen voneinander getrennt sind.

DE 196 44 315 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Festkörperlaseroszillator, der einen Laserstrahl stabil mit hoher Ausgangsleistung und hoher Qualität erzeugen kann, sowie eine Bearbeitungsvorrichtung, welche diesen Festkörperlaseroszillator einsetzt.

Fig. 5 zeigt schematisch den Aufbau eines Oszillatorabschnitts einer konventionellen Festkörperlaservorrichtung, die bislang zur Erzeugung eines Laserstrahls hoher Qualität verwendet wurde. In Fig. 5 bezeichnet das Bezugszeichen 1 ein stabförmiges Festkörperelement, beispielsweise einen mit Nd dotierten YAG-Laser, also ND : YAG (Nd : Yttrium Aluminium Granat). Das Bezugszeichen 2 bezeichnet eine Anregungslichtquelle, beispielsweise eine Kryptonbogenlampe, eine Xenonblitzlampe, usw. Das Bezugszeichen 4 bezeichnet einen Kondensator, der so ausgebildet ist, daß er das Festkörperelement 1 und die Anregungslichtquelle 2 einschließt. Das Bezugszeichen 31 bezeichnet einen teilreflektierenden Spiegel, und das Bezugszeichen 32 einen totalreflektierenden Spiegel.

Fig. 6 ist eine Schnittansicht eines Laseroszillators nach dem Stand der Technik, nämlich eines stabilisierten Laseroszillators mit hoher Qualität, wie beschrieben in "Solid-State Laser Engineering", 2. Ausgabe, Springer-Verlag, S. 192, 193. Die Bezugszeichen 11 und 12 bezeichnen ein erstes bzw. zweites stabförmiges Festkörperelement, und die Bezugszeichen 21 und 22 bezeichnen eine erste bzw. eine zweite Anregungslichtquelle. Das Bezugszeichen 31 bezeichnet einen teilreflektierenden Spiegel, 32 einen totalreflektierenden Spiegel, 60 einen Kristallrotator für eine optische Drehung um 90°, und 61 ein Brewster-Fenster.

Unter Bezugnahme auf Fig. 5 wird der konventionelle Laseroszillator erläutert. Bekanntlich ist die Qualität eines Laserstrahls besser als das Verhältnis eines Festkörperelements zu einem Gauss-Strahl, bei einer Berechnung unter der Annahme, daß das Festkörperelement klein wird. Aus diesem Grund wird die Länge eines Resonators erhöht, so daß der theoretische Durchmesser eines Gauss-Strahls in dem Festkörperelement erreicht wird, oder es wird eine Aperturblende in dem Resonator vorgesehen, um die Ordnung einer transversalen Mode an anderen Abschnitten als dem Festkörperelement einzuschränken. Dies läßt sich durch einen "versetzten" Laserresonator erzielen, bei welchem ein reflektierender Spiegel mit einem kleinen Krümmungsradius von beispielsweise 1 m oder weniger verwendet wird, typischerweise 0,1 bis 0,5 m, wobei der Laserstrahl auf einen kleinen Punkt auf der vorderen Oberfläche des reflektierenden Spiegels fokussiert wird. Ein konvexer, teilreflektierender Spiegel ist in der Nähe des Festkörperelements vorgesehen, um einen reflektierenden Spiegel mit einer Länge von einigen Metern zusammen mit einer konvexen Wärmelinse des Festkörperelements auszubilden.

Bei einem durch die vorliegenden Erfinder durchgeführten Versuch war der Resonator so aufgebaut, daß der Durchmesser des theoretisch in der Nähe des Festkörperelements berechneten Gauss-Strahls auf beispielsweise den Faktor 1/5 des Durchmessers des Festkörperelements vergrößert ist, und hierdurch konnte ein Laserstrahl mit hoher Qualität erhalten werden, also etwa 1/20 der Beugungsgrenze, was eine Ordnung der transversalen Mode von etwa 20 bedeutet, also etwa 1/10 des Wertes bei einem üblichen Oszillator.

Ein derartiger Aufbau des Resonators führt allerdings

zu der Schwierigkeit, daß der Oszillatorwirkungsgrad sinkt, und die Laserausgangsleistung schwankt. Dies ist wesentlich in einem Fall, in welchem der Resonator mit hoher Ausgangsleistung von 100 W oder mehr betrieben wird, wenn die Verzerrungen des Festkörperelements erhöht werden können. Diese Tendenz wird mit erhöhter Qualität des Strahls deutlich.

Fig. 7 zeigt schematisch ein Beispiel für die Oszillatoreigenschaften, die bei einem Versuch mit dem konventionellen Festkörperlaseroszillator erhalten wurden. In dem Diagramm bezeichnet die Linie A die Oszillatorcharakteristik eines Laserstrahls mit schlechter Strahlqualität, beispielsweise 1/200 der theoretischen Grenze, also mit einer Ordnung von 200 der transversalen Mode, und die Linie B zeigt die Oszillatorcharakteristik eines Laserstrahls mit hoher Strahlqualität mit einer Ordnung von 20 der transversalen Mode. Die Linie B zeigt keine lineare Oszillatorcharakteristik, sondern eine gekrümmte Charakteristik, die mehrere Spitzenwerte aufweist. Es wird deutlich, daß die Schwankungen der Ausgangsleistung in den Abschnitten der Täler der Oszillatorcharakteristik merkbar werden, also im Zustand mit relativ niedriger Ausgangsleistung.

Andererseits ist bei dem in Fig. 6 gezeigten Stand der Technik bekannt, daß ein Laserstrahl mit stabilisierter Ausgangsleistung mit hohem Wirkungsgrad erhalten werden kann, wenn ein erstes und ein zweites stabförmiges Festkörperelement 11 und 12 in Tandemanordnung vorgesehen werden, und ein 90°-Kristallrotator 60 im Zentrum zwischen diesen Festkörperelementen angeordnet wird, wenn der Einfluß der von dem ersten Festkörperelement hervorgerufenen Doppelbrechung durch das zweite Festkörperelement ausgeglichen wird. Doppelbrechung betrifft das Phänomen, daß zwei zueinander orthogonale Polarisationskomponenten unterschiedliche Brechungsindizes sehen, infolge von Wärmespannungen, die in dem Halbleiterelement hervorgerufen werden. Der Laserstrahl, der auf das doppelbrechende Festkörperelement auftrifft, sieht daher entsprechend seiner Polarisationsrichtung eine von zwei Arten von Wärmelinsen. Der 90°-Kristallrotator 60 dreht das polarisierte Licht des Laserstrahls, der durch das erste Festkörperelement 11 hindurchgegangen ist, und läßt ihn auf das zweite Festkörperelement 12 auftreffen. Daher sieht auch der auf das erste Festkörperelement 11 einfallende Laserstrahl zwei Arten von Wärmelinsen, wenn er durch beide Festkörperelemente hindurchgegangen ist. Da der in beiden Polarisationsrichtungen, welche durch die Doppelbrechung des Festkörperelements vorgegeben werden, polarisierte Laserstrahl beide Wärmelinsen in den insgesamt zwei Festkörperelementen wahrnimmt, oszillieren zwei polarisierte Strahlen im wesentlichen in demselben Zustand, so daß der Effekt auftritt, als wäre die Trennung des polarisierten Lichts infolge der Doppelbrechung soeben aufgehoben worden.

Die in Fig. 6 gezeigte Vorrichtung nach dem Stand der Technik kann linear polarisiertes Licht wirksam und stabil treiben. Darüber hinaus haben von den Erfindern der vorliegenden Erfindung durchgeführte Versuche bestätigt, daß auch in einem Resonator, in welchem linear polarisiertes Licht nicht gewünscht ist, sondern ein Brewster-Fenster entfernt ist, das sorgfältige Einfügen eines 90°-Kristallrotators 60 zwischen zwei Festkörperelementen 11 und 12 zum Ausgleichen des Einflusses der Doppelbrechung den Wirkungsgrad der Laseroszillation erhöhen kann. Die Oszillationscharakteristik, die durch die in Fig. 7 gezeigte Kurve C dargestellt wird,

sorgt für eine wirksame Oszillatorsignalforn ohne wesentliche Schwankungen.

Nunmehr erfolgt eine Erläuterung der Theorie des Unterschieds zwischen den in Fig. 5 und 6 gezeigten Vorrichtungen nach dem Stand der Technik. Bei der in Fig. 5 gezeigten Vorrichtung nach dem Stand der Technik wird das Festkörperelement von außen angeregt; so daß es thermisch verformt wird. Beispielsweise ein Festkörperelement mit kreisförmigem Querschnitt erfährt einen Unterschied der Ausdehnung des Kristalls und eine Änderung des Brechungsindex in Richtung des Durchmessers und in Radialrichtung des Schnitts. Die Richtungen der beiden Dimensionen sind orthogonal zueinander, so daß zwei Linsenwirkungen in diesen Richtungen erzeugt werden. Laserstrahlen, die zwei grundlegende Polarisationsmoden aufweisen, also die in den Fig. 8A und 8B gezeigten Polarisationskomponenten, erfahren daher Linsenwirkungen in unterschiedlichen Dimensionen, wenn sie durch das Festkörperelement hindurchgehen. Aus diesem Grund können die Durchmesser des Gauss-Strahles, die theoretisch innerhalb des Festkörperelements für die Ausgangsleistung einer Anregungslichtquelle berechnet werden, als zwei Kurven B1 und B2, wie in Fig. 9B dargestellt, aufgetragen werden, für die Laserstrahlen mit den grundlegenden Polarisationsmoden, die in den Fig. 8A und 8B gezeigt sind. Der durch zwei Kurven mit Durchmessern B1 und B2 des Gauss-Strahls dargestellte Abschnitt ist ein Bereich, in welchem eine Oszillation auftreten kann, welche für die jeweiligen grundlegenden Polarisationsmoden berechnet werden kann. In den übrigen Bereichen tritt infolge hoher Verluste des Resonators keine Oszillation auf.

Nunmehr wird die durch Kurve B in Fig. 7 gezeigte Oszillatorcharakteristik mit dem in Fig. 9B gezeigten Oszillationsbereich verglichen. Experimentell wurde herausgefunden, daß die durch Kurve B in Fig. 7 gezeigte Oszillatorcharakteristik drei Ausgangswerte von Hügeln aufweist, deren Abschnitte mit Oszillationsbereichen B11, B12 und B22 in Fig. 9B zusammenfallen. Dies bedeutet, daß eine hohe Ausgangsleistung und eine hohe Stabilität nur unter der Bedingung erhalten werden können, daß Strahlen mit zwei Polarisationsmoden vollständig überlappt oszillieren, oder nur die eine Polarisationsmode stabil oszilliert, wogegen sich die andere Polarisationsmode in einem instabilen Oszillatorbereich befindet. Dies läßt sich auf folgende Tatsache zurückführen. Beispielsweise tritt unter der Grenzbedingung zwischen B11 und B12 in Fig. 9B ein Übergang von der grundlegenden polarisierten Lichtmode auf die andere polarisierte Lichtmode auf, infolge von Schwankungen oder ungleichförmigen Verzerrungen der Wärmelinse in dem Festkörperelement. Daher treten teilweise Resonatorschwingungen in der Polarisationsmode mit hohen Verlusten auf, so daß sich die Verstärkungen von Festkörperelementen gegenseitig auslöschen können. Dies führt insgesamt dazu, daß die Resonatorverluste erhöht werden, so daß die Laserausgangsleistung absinkt und der Laser instabil wird.

Andererseits führt bei dem in Fig. 6 gezeigten Stand der Technik der Oszillator dazu, daß eine Umwandlung der Polarisation mit Hilfe eines Polarisationsrotators (90°-Kristallrotator 60) erfolgt, der zwischen den beiden Festkörperelementen 11 und 12 eingeführt ist, wodurch ein Unterschied zwischen den Resonatormoden in den beiden Arten der Polarisationsmoden ausgeglichen wird. Es ergibt sich der in Fig. 9A gezeigte Oszillationsbereich. Die Oszillationsbereiche A1 und A2 in beiden

Polarisationsmoden sind im wesentlichen überlappend angeordnet. Auf diese Weise schwingen beide Polarisationsmoden gleichförmig mit geringen Verlusten, so daß eine stabilisierte Schwingung mit hohem Wirkungsgrad erhalten werden kann, wie durch die Kurve C in Fig. 7 gezeigt.

Wie voranstehend geschildert, war beim Stand der Technik zur Verbesserung der Qualität eines Laserstrahls der Oszillator so ausgebildet, daß das Verhältnis des Durchmessers eines Festkörperelements zum Durchmesser eines theoretisch in dem Festkörperelement berechneten Gauss-Strahls klein ist. Allerdings wird bei einer hohen Ausgangsleistung von 100 W oder mehr des Lasers der Oszillatorwirkungsgrad verschlechtert, und beginnt die Ausgangsleistung zu schwanken, infolge des Einflusses der Doppelbrechung. Weiterhin wurde zur Ausschaltung derartiger Nachteile eine Vorgehensweise zum Ausgleich der Doppelbrechung eingesetzt, bei welcher ein Kristallrotator zwischen zwei in Tandemanordnung angeordneten Festkörperelementen vorgesehen wurde. Allerdings waren für diesen Zweck zwei Festkörperelemente mit im wesentlichen derselben Qualität erforderlich, und war es darüber hinaus nötig, die Elemente präzise auf einer optischen Achse anzuordnen.

Die vorliegende Erfindung wurde dazu entwickelt, derartige Probleme zu lösen, und soll einen Festkörperlaseroszillator zur Verfügung stellen, welcher die Erzeugung eines Laserstrahls mit hoher Qualität und hoher Ausgangsleistung gestattet, selbst wenn ein einzelnes stabförmiges Festkörperelement vorgesehen ist.

Darüber hinaus soll gemäß der vorliegenden Erfindung eine Bearbeitungsvorrichtung zur Verfügung gestellt werden, welche einen derartigen Hochleistungs-Festkörperoszillator verwendet.

Der Festkörperlaseroszillator gemäß der vorliegenden Erfindung weist ein Festkörperelement mit einem aktiven Lasermedium auf, welches bei der Anregung mehrere Wärmelinsen aufweist; sowie reflektierende Spiegel, die einander gegenüberliegend auf beiden Seiten des Festkörperelements so angeordnet sind, daß ihre optischen Achsen übereinstimmen, wobei eine vorbestimmte Beziehung zwischen dem Brechungskoeffizienten und der Länge des Festkörperelements vorhanden ist, zwischen den Krümmungsradien der reflektierenden Spiegel, zwischen der Entfernung zwischen den reflektierenden Spiegeln und dem Festkörperelement, und zwischen der Differenz des Wertes von $1/f$ zwischen mehreren Wärmelinsen infolge der Doppelbrechung des Festkörperelements, so daß Oszillationsbereiche infolge der mehreren Wärmelinsen voneinander getrennt sind.

Die vorbestimmte Beziehung besteht in einem stabförmigen YAG-Festkörperelement.

Die vorbestimmte Beziehung ist so, daß die Wärmelinsenbereiche, welche eine Oszillatorwirkung gestatten, nicht größer sind als 20% des Zentrumswertes der mehreren Wärmelinsen.

Die Bearbeitungsvorrichtung, welche diesen Festkörperlaseroszillator verwendet, weist einen Festkörperlaseroszillator auf, der ein Festkörperelement enthält, das ein aktives Lasermedium enthält und mehrere Wärmelinsen bei der Anregung zur Verfügung stellt; und weist reflektierende Spiegel auf, die einander gegenüberliegend auf beiden Seiten des Festkörperelements so angeordnet sind, daß ihre optischen Achsen übereinstimmen, wobei eine vorbestimmte Beziehung zwischen dem Brechungsindex und der Länge des Festkörperelements

vorhanden ist, zwischen den Krümmungsradien der reflektierenden Spiegel, der Entfernung zwischen den reflektierenden Spiegeln, und der Differenz des Wertes von $1/f$ zwischen mehreren Wärmelinse infolge der Doppelbrechung des Festkörperelements, so daß Oszillationsbereiche infolge der mehreren Wärmelinse voneinander getrennt sind; wobei ein Festkörperlaseroszillator vorgesehen ist, der ein stangenförmiges YAG-Festkörperelement aufweist, oder ein Festkörperlaseroszillator vorgesehen ist, bei welchem die voranstehend geschilderte Beziehung so gewählt ist, daß die eine Oszillation erzeugenden Wärmelinsebereiche nicht größer sind als 20% des Zentrums werts der mehreren Wärmelinse.

Die Erfindung wird nachstehend anhand zeichnerisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert, aus welchen weitere Vorteile und Merkmale hervorgehen. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Ansicht des Aufbaus eines Oszillatorabschnitts gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2A und 2B Diagramme des Oszillationsbereiches und der Oszillatorcharakteristik bei der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 ein Diagramm der Beziehung zwischen der Wärmelinse eines Oszillators und der Anregungslichtquellenausgangsleistung bei der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 eine Darstellung des Aufbaus einer Bearbeitungsvorrichtung, welche den Festkörperlaseroszillator gemäß der zweiten Ausführungsform verwendet;

Fig. 5 eine Ansicht des Aufbaus des Oszillatorabschnitts nach dem Stand der Technik;

Fig. 6 eine Ansicht des Aufbaus eines Oszillatorabschnitts nach einem weiteren Stand der Technik;

Fig. 7 ein Diagramm der Oszillatorcharakteristik bei dem Oszillatorabschnitt nach dem Stand der Technik;

Fig. 8A und 8B Darstellungen der Polarisationscharakteristik des Oszillatorabschnitts nach dem Stand der Technik; und

Fig. 9A und 9B Diagramme der Polarisationscharakteristik des Oszillatorabschnitts nach dem Stand der Technik.

(Ausführungsform 1)

Unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 3 erfolgt nunmehr eine Beschreibung der ersten Ausführungsform. Fig. 1 zeigt schematisch die Ausbildung eines Oszillatorabschnitts gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Bezugszeichen 1, 2, 3 und 4 bezeichnen entsprechende Elemente wie der in Fig. 5 gezeigte Stand der Technik. Die vorliegende Ausführungsform unterscheidet sich von dem Stand der Technik gemäß Fig. 5 in der Hinsicht, daß die jeweiligen Krümmungen R1 und R2 und die Entfernungen L1 und L2 vom Ende des Festkörperelements 1 eines teilreflektierenden Spiegels 31 und eines total reflektierenden Spiegels 32 eine bestimmte Bedingung erfüllen.

Bei einem Oszillator, der ein Festkörperelement enthält, dessen Wärmelinse sich in Abhängigkeit von der Eingangsleistung (also der Ausgangsleistung einer Anregungslichtquelle) ändern, existiert ein Bereich für die Oszillatorwirkung des Festkörperelements. Der Bereich oder der Umfang der Wärmelinse hängt mit den Abmessungen des Resonators zusammen. Wenn ein Spiegel mit kleinerem Krümmungsradius zur Erhöhung der Resonatorlänge verwendet wird, verringert sich der Be-

reich der Wärmelinse.

Da das eine Doppelbrechung aufweisende Festkörperelement verschiedene Werte verschiedener Wärmelinse für unterschiedliche Polarisationsmoden bei dem in Fig. 5 dargestellten Stand der Technik aufweist, beginnen andererseits die beiden Strahlen in den beiden Polarisationsmoden bei unterschiedlichen Anregungslichtquellenausgangsleistungen zu schwingen, so daß sich die durch die Kurve B in Fig. 7 gezeigte Ausgangsleistungscharakteristik ergibt. Die Bereiche der Anregungslichtquellenausgangsleistungen entsprechend Oszillationen in den Polarisationsmoden werden als "Oszillationsbereiche" bezeichnet. In diesem Zustand überlappen sich zwei Oszillationsbereiche zur Hälfte, so daß die Selektivität der Polarisationsmode schlecht ist, und die Laserausgangsleistung instabil ist. Wenn daher die Breite des Oszillationsbereichs verringert wird, um die Überlappung der Oszillationsbereiche in zwei Polarisationsmoden zu verringern, steigen die Oszillations- oder Schwingungsverluste an, wenn die Breite des Oszillationsbereichs auf die Hälfte verringert wird, so daß die Instabilität ansteigt. Wird jedoch die Breite des Oszillationsbereichs ausreichend eingengt, so daß die Oszillationsbereiche in zwei Polarisationsmoden voneinander getrennt werden, tritt plötzlich ein Zustand auf, in welchem der Laser mit hohem Wirkungsgrad unter geringen Verlusten schwingt.

Der Oszillationsbereich und die Oszillatorcharakteristik sind in den Diagrammen der Fig. 2A und 2B gezeigt. Der Oszillationsbereich ist in zwei Bereiche unterteilt. Die Breiten der jeweiligen Oszillationsbereiche sind verengt, verglichen mit den Kurven B und C, welche die in Fig. 7 dargestellte Oszillationscharakteristik aufweisen. Allerdings kann man an den Spitzenwerten der Ausgangsleistung in den jeweiligen Oszillationsbereichen stabilisierte Ausgangsleistungen mit sehr hohem Wirkungsgrad erhalten. Der Grund hierfür liegt an folgendem. Da die Oszillationsbereiche in den beiden Polarisationsmoden vollständig voneinander getrennt sind, wird die Selektivität für die eine Polarisationsmode ausreichend erhöht, selbst wenn man die Instabilität des Festkörperelements berücksichtigt. Daher konzentriert sich die Verstärkung des Festkörperelements stabil in der einen Polarisationsmode. Dieses Verfahren ist anders als der Stand der Technik gemäß Fig. 6, bei welchem Oszillationsbereiche in beiden Polarisationsmoden dazu veranlaßt werden, vollständig übereinzustimmen, um die Laserausgangsleistung zu stabilisieren.

In Fig. 2A wird die Breite zwischen zwei Oszillationsbereichen durch Δ ($1/f$) ausgedrückt, aus dem Grund, daß die Ausgangsleistung einer angeregten Lichtquelle in der Beziehung von 1 : 1 zum Wert von ($1/f$) steht.

Beispielsweise betrug im Falle eines stangenförmigen YAG-Lasers bei einem von den vorliegenden Erfindern durchgeführten Versuch die Differenz der thermischen Linse ($1/f$), die den Kehrwert der Brennweite zwischen zwei Polarisationsmoden beträgt, etwa 20% der thermischen Linse ($1/f$). Der Oszillator, der in einer schmalen thermischen Linse schwingt als die Differenz der thermischen Linse beträgt, ist tatsächlich so aufgebaut, daß ein Resonatorspiegel getrennt in einem sehr kurzen Krümmungsradius R1 = 100 mm angeordnet ist, und in einer sehr kurzen Entfernung von dem Ende eines Festkörperelements, nämlich L1 = 450 mm, wogegen andere Resonatorspiegel bei R2 = -100 mm und L2 = 550 mm angeordnet ist, so daß Laseroszillation in dem Bereich von etwa 240 bis 280 mm der Brennweite (f) der thermischen Linse des Festkörperelements auftreten.

Bei diesem Oszillator liegt daher das Zentrum der thermischen Linse bei $(1/f) = 1/260 \text{ (mm}^{-1}\text{)}$, so daß die Differenz der thermischen Linse, die etwa 20% dieses Wertes beträgt, sich ergibt zu

$$0,2(1/f) = 0,00077 \text{ (mm}^{-1}\text{)}.$$

Andererseits beträgt der Bereich der oszillierenden thermischen Linse

$$1/240 - 1/280 = 0,00060 \text{ (mm}^{-1}\text{)}.$$

Auf diese Art und Weise ist der Bereich der oszillierenden thermischen Linse enger als die Differenz der thermischen Linse des Festkörperelements, so daß die Oszillationsbereiche entsprechend der jeweiligen Polarisationsmode getrennt sind.

Die voranstehenden Tatsachen werden unter Bezugnahme auf das Diagramm erläutert, welches in Fig. 3 die Beziehung zwischen einer thermischen Linse $(1/f)$ und der Anregungsausgangsleistung (W) einer Anregungslichtquelle zeigt. Wenn beispielsweise gleichzeitig zwei thermische Linsen (nämlich eine thermische Linse 1 und eine thermische Linse 2) vorhanden sind, werden für den Bereich der thermischen Linse $(\Delta(1/f))$, der bei einer bestimmten Linse zentriert ist $(1/f)$, Oszillationsbereiche so eingestellt, daß der Oszillationsbereich Nr. 1, der von der thermischen Linse 1 erzeugt wird, und der Oszillationsbereich Nr. 2, der von der thermischen Linse 2 erzeugt wird, sich nicht überlappen.

Man sieht, daß die Differenz zwischen der thermischen Linse 1 und der thermischen Linse 2 den Wert von 20% von $(1/f)$ aufweist.

Nachstehend erfolgt eine analytische Erläuterung der Bedingungen für einen derartigen Resonator. Um bei diesem Resonator die Oszillationsbereiche entsprechend den jeweiligen Polarisationsmoden vollständig voneinander zu trennen, ist es erforderlich, daß die Breiten der jeweiligen Oszillationsbereiche enger sind als die Differenz zwischen den Oszillationsbereichen in den zwei Polarisationsmoden. Bekanntlich läßt sich auf der Grundlage des Berichts von V. Magni et al die Beziehung zwischen der Breite des Oszillationsbereiches und den Abmessungen des Resonators folgendermaßen berechnen.

Nimmt man an, daß die Brennweite der thermischen Linse des Festkörperelements f ist, so kann die Breite des Oszillationsbereiches, ausgedrückt auf der Grundlage eines thermischen Linsenbereiches $\Delta(1/f)$, folgendermaßen ausdrücken, unter Verwendung konstruktiver Werte R_1 , R_2 , L_1 und L_2 des Resonators in Fig. 1, der Länge L des Festkörperelements, und eines Brechungsindex n_0 .

$$\Delta(1/f) = 1/(\max(|u_1|, |u_2|))$$

wobei

$$u_1 = (L_1 + L/2 \cdot n_0)(1 - (L_1 + L/2 \cdot n_0)/R_1)$$

$$u_2 = (L_1 + L/2 \cdot n_0)(1 - (L_2 + L/2 \cdot n_0)/R_2).$$

Nunmehr wird angenommen, daß der Zentrumswert der thermischen Linse des Festkörperelements, wo der Oszillator schwingt, $1/f$ beträgt (wenn der Minimalwert der thermischen Linse gleich $1/f_1$ ist, und der entsprechende Maximalwert $1/f_2$, so ist $1/f = (1/f_1 + 1/f_2)/2$), und ist es erforderlich, daß der thermische Linsenbereich $(\Delta(1/f))$ zur Bereitstellung der gewünschten Oszil-

lation enger ist als dieser Wert. Daher ergibt sich folgende Bedingung für den Resonator.

$$1/(\max(\max(|u_1|, |u_2|))) \leq 0,2(1/f).$$

Die Abmessungen von R_1 , R_2 , L_1 und L_2 des Resonators können so festgelegt werden, daß diese Bedingung erfüllt ist.

Unter der Annahme, daß $|u_1| \geq |u_2|$ ist, läßt sich die Bedingung für den voranstehenden Resonator folgendermaßen vereinfachen.

$$R_1 \geq (L_1 + L/2 \cdot n_0)^2 / (L_1 + L/2 \cdot n_0 - f/0,2).$$

Andererseits läßt sich, unter der Annahme $|u_1| \leq |u_2|$, die Bedingung für den voranstehenden Resonator folgendermaßen vereinfachen.

$$R_2 \geq (L_2 + L/2 \cdot n_0)^2 / (L_2 + L/2 \cdot n_0 - f/0,2).$$

Wie voranstehend geschildert, können zwei Oszillationsbereiche voneinander getrennt werden, da der Oszillator so aufgebaut ist, daß eine vorbestimmte Beziehung herrscht zwischen dem Brechungsindex n_0 und der Länge l des Festkörperelements, den Krümmungsradien R_1 , R_2 der reflektierenden Spiegel, den Entfernungen L_1 , L_2 zwischen den reflektierenden Spiegeln und dem Festkörperelement, und der Differenz des Wertes von $1/f$ zwischen mehreren Wärmelinse infolge der Doppelbrechung des Festkörperelements (beispielsweise $0,2(1/f)$ im Falle eines stangenförmigen YAG-Lasers). Daher ist die Polarisationsmode des Laserstrahls während der Oszillation auf einen der thermischen Linsenbereiche beschränkt. Dieses verbessert die Selektivität bezüglich der Polarisationsmode, so daß ein Laserstrahl zur Verfügung gestellt wird, der eine stabilisierte Ausgangsleistung mit hoher Qualität und hohem Wirkungsgrad aufweist, selbst für eine Mode niedriger Ordnung.

Das YAG-Festkörperelement weist keine so hohe Doppelbrechung auf, verglichen mit anderen Festkörperelementen. Aus diesem Grund erhöht die Stangenform dieses Elements die Differenz der thermischen Linsen, so daß die Oszillationsbereiche einfach voneinander getrennt werden können, was ein besseres Ergebnis zur Verfügung stellt.

(Ausführungsform 2)

Unter Bezugnahme auf Fig. 4 erfolgt nunmehr eine Erläuterung einer Ausführungsform, bei welcher der Festkörperlaseroszillator, der die Bedingungen für den Resonator erfüllt, bei einer Bearbeitungsvorrichtung eingesetzt wird. In Fig. 4 bezeichnet das Bezugszeichen 70 einen Festkörperlaseroszillator, der unter Bezugnahme auf die erste Ausführungsform bereits beschrieben wurde, 80 bezeichnet eine Bearbeitungsvorrichtung zur Laserbearbeitung mit einem Bearbeitungstisch 81 und einem Bearbeitungskopf 82. Ein Laserstrahl hoher Qualität wird von dem Festkörperlaseroszillator 70 ausgesandt. Der Laserstrahl 10 wird dem Bearbeitungskopf 82 beispielsweise durch eine Faseroptik 33 oder einen gebogenen Spiegel 34 zugeführt und auf ein zu bearbeitendes Werkstück 83 fokussiert. Das zu bearbeitende Werkstück 83 ist auf dem Bearbeitungstisch 81 befestigt. Der Bearbeitungskopf 82 oder der Bearbeitungstisch 81 wird so bewegt, daß die Laserbearbeitung wie beispielsweise Schneiden, Schweißen oder Markieren, durchgeführt werden können.

Die vorliegende Erfindung mit dem voranstehend geschilderten Aufbau sorgt für die folgenden Auswirkungen.

Der Festkörperlaseroszillator gemäß der vorliegenden Erfindung weist ein Festkörperelement auf, welches ein aktives Lasermedium enthält und bei Anregung mehrere Wärmelinsen aufweist; sowie reflektierende Spiegel, die einander gegenüberliegend auf beiden Seiten des Festkörperelements angeordnet sind, so daß ihre optischen Achsen übereinstimmen, wobei eine vorbestimmte Beziehung zwischen dem Brechungsindex und der Länge des Festkörperelements besteht, den Krümmungsradien der reflektierenden Spiegel, der Entfernung zwischen den reflektierenden Spiegeln und dem Festkörperelement, und der Differenz des Wertes von $1/f$ zwischen mehreren thermischen Linsen infolge der Doppelbrechung des Festkörperelements, so daß Oszillationsbereiche infolge der mehreren thermischen Linsen voneinander getrennt sind. Die Polarisationsmode des Laserstrahls während der Oszillation ist daher auf einen der thermischen Linsenbereiche beschränkt. Dies verbessert die Selektivität bezüglich der Polarisationsmode, so daß ein Laserstrahl bereitgestellt wird, der eine stabilisierte Ausgangsleistung mit hoher Qualität und hohem Wirkungsgrad aufweist, selbst bei einer Mode niedriger Ordnung.

Das Festkörperelement ist als stangenförmiges YAG-Festkörperelement ausgebildet. Bei dem YAG-Festkörperelement, welches eine geringe Doppelbrechung aufweist, erhöht daher die Stangenform dieses Elements die Differenz der thermischen Linsen, so daß die Oszillationsbereiche einfach voneinander getrennt werden können. Dies verbessert die Selektivität der Polarisationsmode, so daß ein Laserstrahl bereitgestellt wird, der eine stabilisierte Ausgangsleistung mit hoher Qualität und hohem Wirkungsgrad aufweist, selbst bei einer Mode niedriger Ordnung.

Weiterhin ist die vorbestimmte Beziehung so eingestellt, daß die Bereiche der thermischen Linsen, welche zur Oszillation führen, weniger als 20% des Zentrumswertes der mehreren thermischen Linsen betragen. Die Polarisationsmode des Laserstrahls während der Oszillation ist daher auf einen der thermischen Linsenbereiche beschränkt. Dies verbessert die Selektivität bezüglich der Polarisationsmode, so daß ein Laserstrahl mit stabilisierter Ausgangsleistung mit hoher Qualität und hohem Wirkungsgrad zur Verfügung gestellt wird, selbst bei einer Mode niedriger Ordnung.

Die Bearbeitungsvorrichtung, welche den Festkörperlaseroszillator verwendet, verwendet einen Festkörperlaseroszillator mit einem Festkörperelement, das ein aktives Lasermedium aufweist und bei der Anregung mehrere thermische Linsen erzeugt; sowie reflektierende Spiegel, die einander gegenüberliegend auf beiden Seiten des Festkörperelements angeordnet sind, so daß ihre optischen Achsen übereinstimmen, wobei eine vorbestimmte Beziehung zwischen dem Brechungsindex und der Länge des Festkörperelements besteht, den Krümmungsradien der reflektierenden Spiegel, der Entfernung zwischen den reflektierenden Spiegeln und dem Festkörperelement, und der Differenz des Wertes von $1/f$ zwischen mehreren Wärmelinsen infolge der Doppelbrechung des Festkörperelements; so daß Oszillationsbereiche infolge der mehreren thermischen Linsen voneinander getrennt sind; verwendet einen Festkörperlaseroszillator, der ein stangenförmiges YAG-Festkörperelement verwendet, oder verwendet einen Festkörperlaseroszillator, bei welchem die voranstehend ge-

schilderte Beziehung so gewählt ist, daß die thermischen Linsenbereiche, welche eine Oszillation hervorrufen, nicht größer sind als 20% des Zentrumswertes der mehreren thermischen Linsen. Daher wird der Festkörperlaseroszillator, der einen Laserstrahl erzeugt, der eine stabilisierte Ausgangsleistung mit hoher Qualität und hohem Wirkungsgrad verwendet, in der Vorrichtung angebracht, so daß die Vorrichtung einfach eingestellt werden kann, und die Qualität der Bearbeitung verbessert werden kann.

Patentansprüche

1. Festkörperlaseroszillator mit:
einem Festkörperelement, welches ein aktives Lasermedium enthält und bei der Anregung mehrere thermische Linsen aufweist, und
reflektierenden Spiegeln, die einander gegenüberliegend auf beiden Seiten des Festkörperelements so angeordnet sind, daß ihre optischen Achsen übereinstimmen,
wobei eine vorbestimmte Beziehung besteht zwischen dem Brechungsindex und der Länge des Festkörperelements,
den Krümmungsradien der reflektierenden Spiegel, der Entfernung zwischen dem Festkörperelement und den reflektierenden Spiegeln, und
der Differenz des Wertes von $1/f$ zwischen den mehreren thermischen Linsen infolge der Doppelbrechung des Festkörperelements,
so daß Oszillationsbereiche infolge der mehreren thermischen Linsen voneinander getrennt sind.
2. Festkörperlaseroszillator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Festkörperelement ein stangenförmiges YAG-Festkörperelement ist.
3. Festkörperlaseroszillator nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die vorbestimmte Beziehung so gewählt ist, daß die thermischen Linsenbereiche, welche eine Oszillation zulassen, nicht größer sind als 20% des Zentrumswertes der mehreren thermischen Linsen.
4. Bearbeitungsvorrichtung mit einem Festkörperlaseroszillator nach einem der Ansprüche 1 bis 3.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

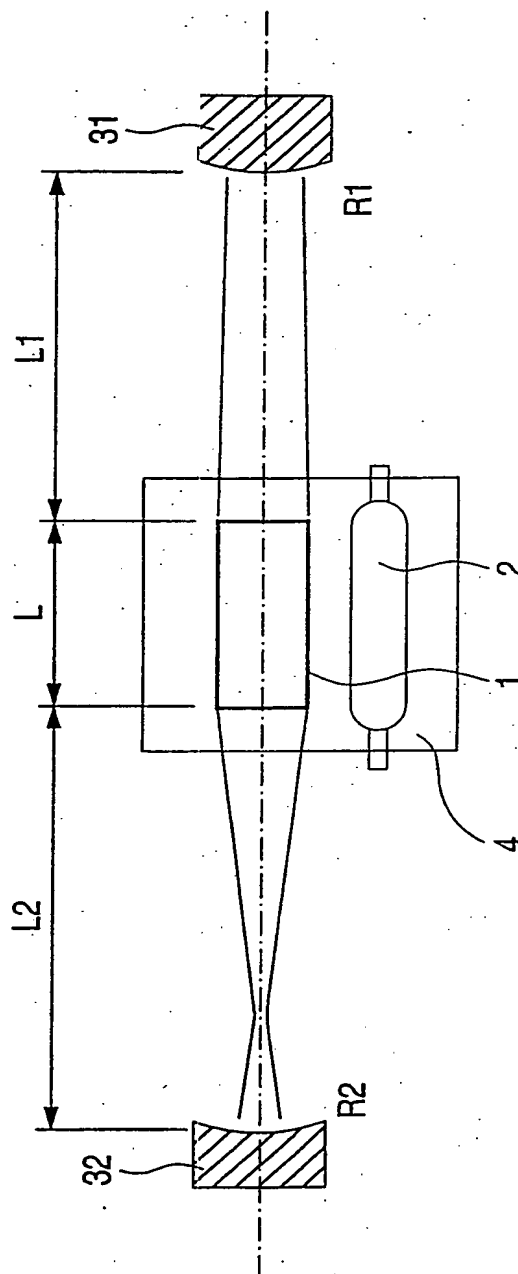


FIG. 2A

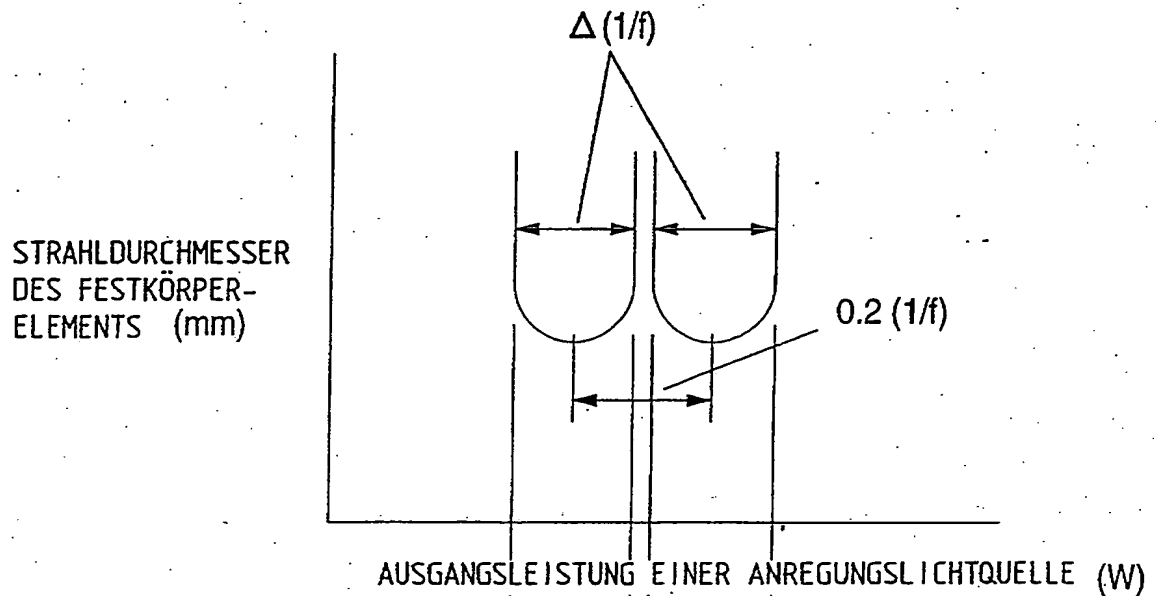


FIG. 2B

LASERSTRAHL-
AUSGANGSLEISTUNG
(W)

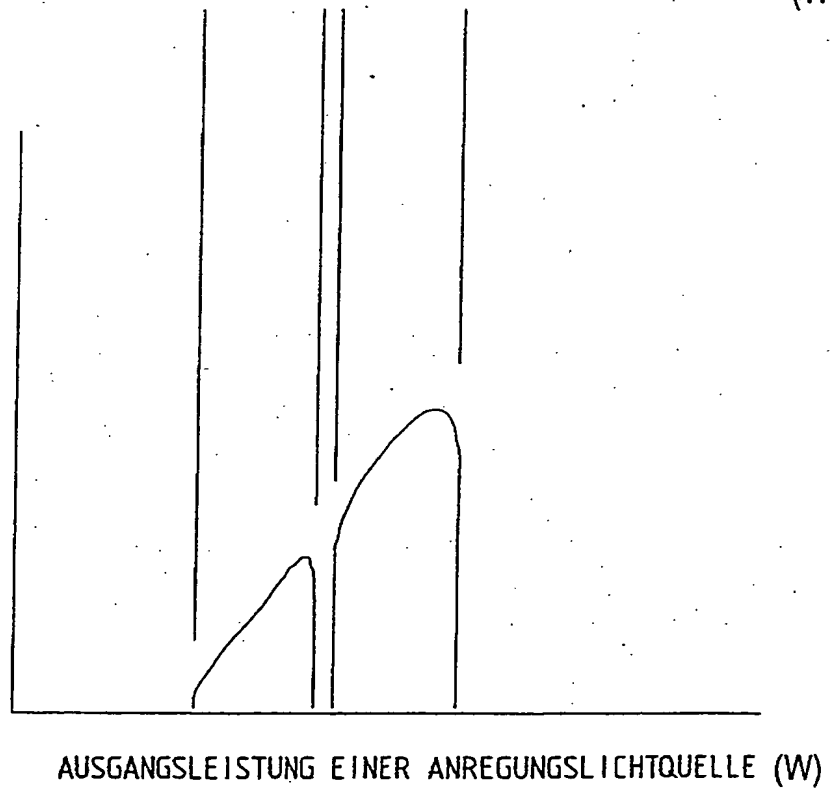


FIG. 3

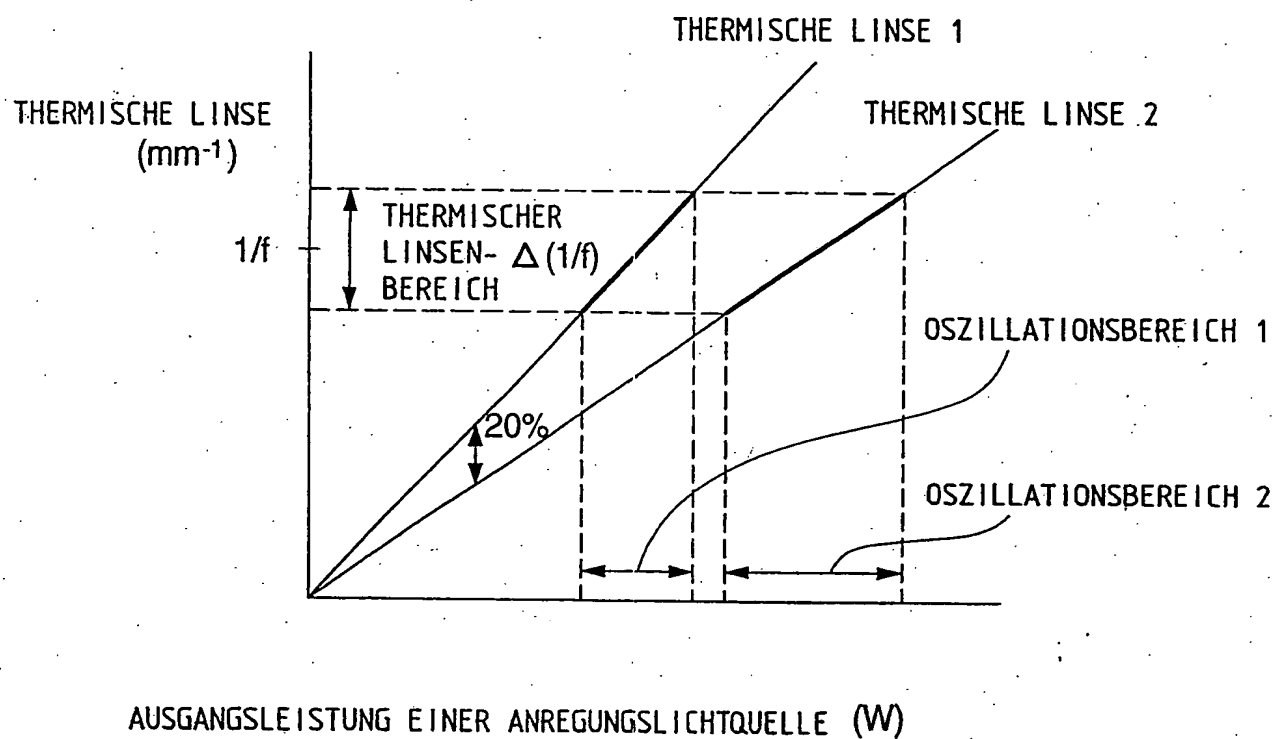
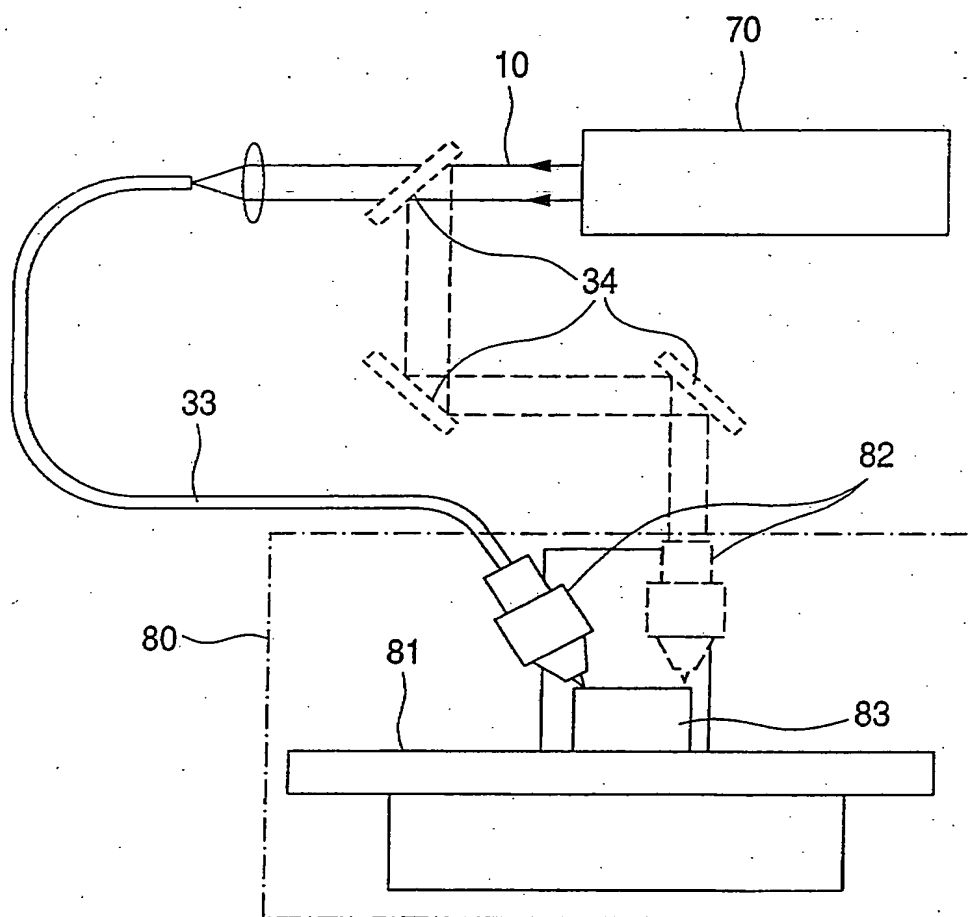


FIG. 4



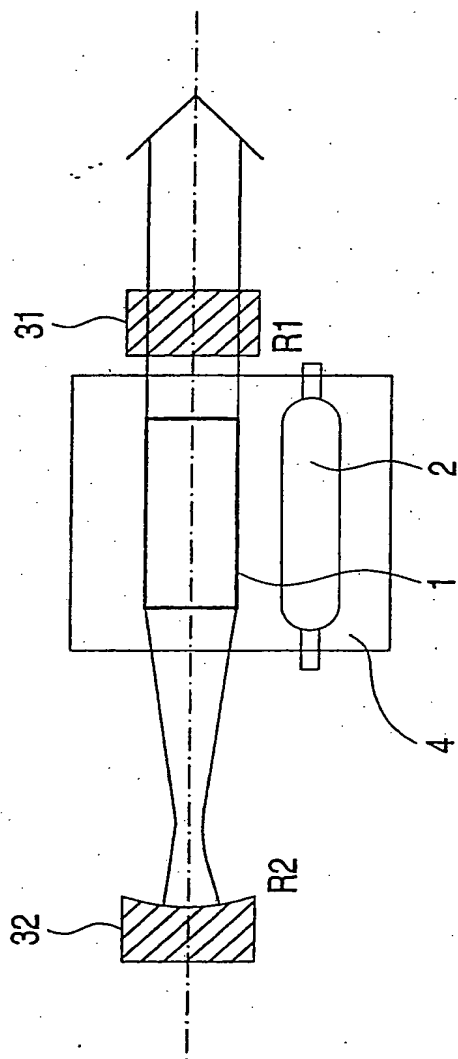


FIG. 5

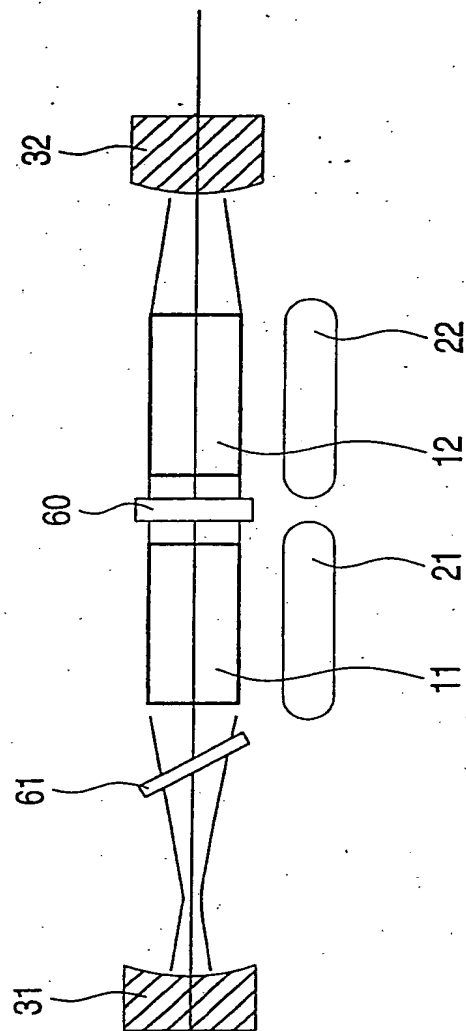


FIG. 6

FIG. 7

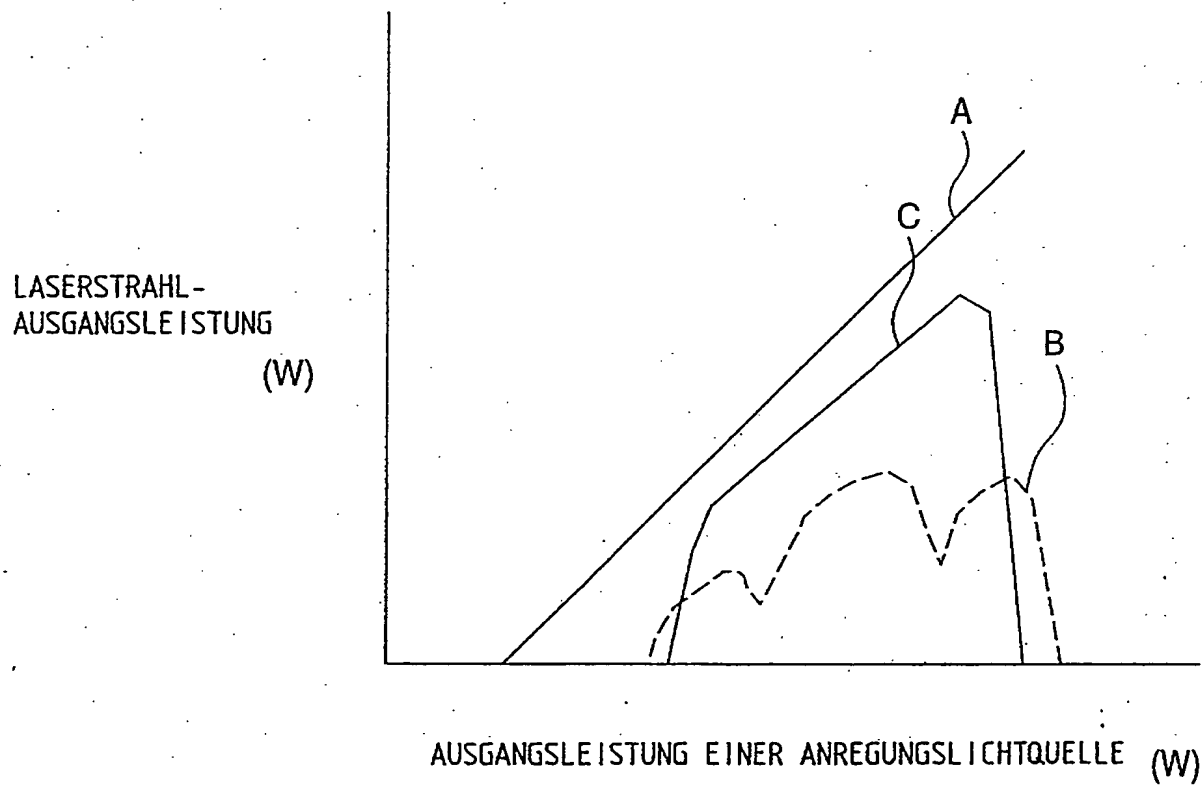


FIG. 8A

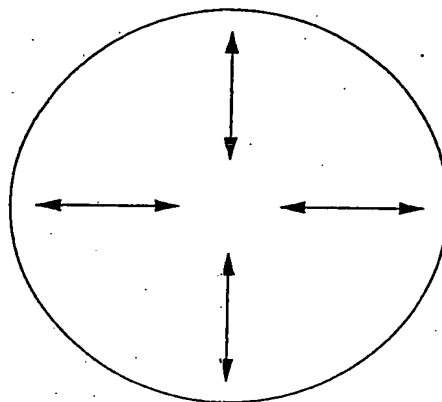


FIG. 8B

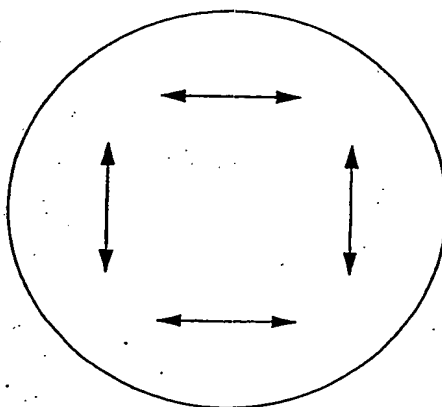
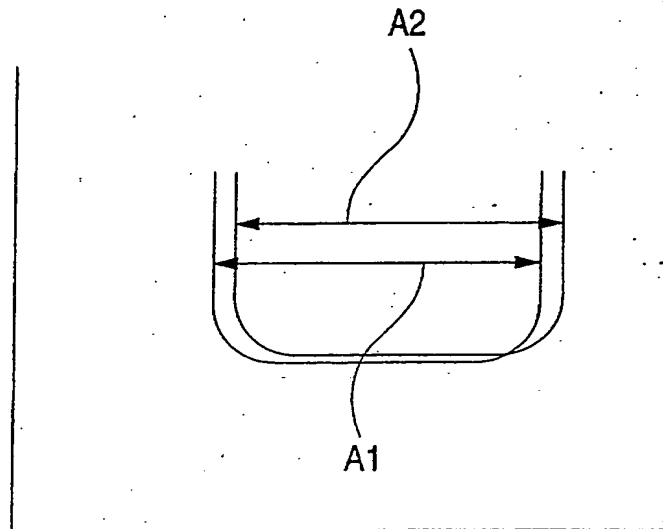


FIG. 9A

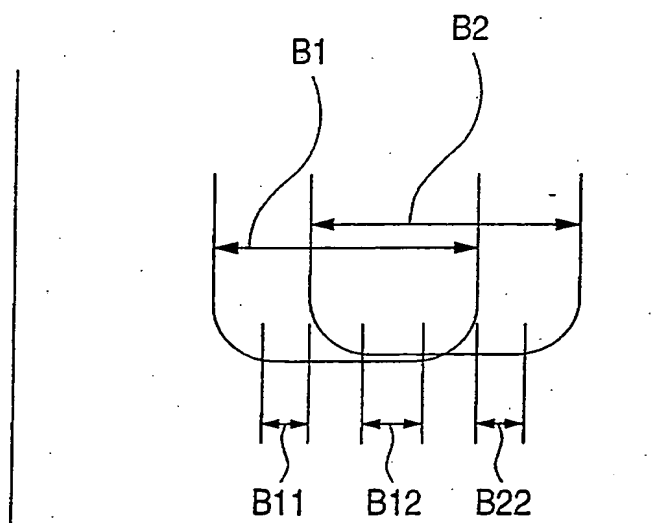
STRAHLDURCHMESSER
DES FESTKÖRPER-
ELEMENTS (mm)



AUSGANGSLEISTUNG EINER ANREGUNGSLICHTQUELLE (W)

FIG. 9B

STRAHLDURCHMESSER
DES FESTKÖRPER-
ELEMENTS (mm)



AUSGANGSLEISTUNG EINER ANREGUNGSLICHTQUELLE (W)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.